

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Využití 3D skenování v obrábění

Using 3D scanning in machining

Student:

Radim Plhák

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Radim Plhák**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Téma: **Využití 3D skenování v obrábění**
Using 3D Scanning in Machinnig
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Přehled současného stavu.
2. Problematika využití 3D skenu při obrábění složitých součástí.
3. Princip funkce skenu v kombinaci s programováním dráhy nástroje.
4. Metody měření.
5. Experimentální část.
6. Technicko - ekonomické zhodnocení a závěr.

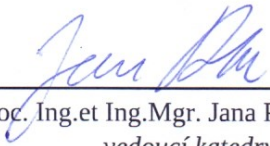
Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie, část 1*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 104 s. ISBN 80-248-0671-1.
- [2] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie - část 2. Základy řízení jakosti*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6.
- [3] ČEPOVÁ, L.; PETŘKOVSKÁ, L. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže FS VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011. 100 s. ISBN 978-80-248-2514-4.
- [4] BREZINA, I. *Súradnicové meracie stroje a ich skúšanie*. Praha: Vydavateľství úřadu pro normalizaci a měření, 1987.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Čepová, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016
Datum odevzdání: 15.05.2017


doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Tato práce byla vypracována se souhlasem vedení společnosti KLEIN automotive s.r.o. ve Štítech.

V Ostravě dne 15. 5. 2017


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 15. 5. 2017



podpis studenta

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Chromeč 128

789 01 Chromeč

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Plhák, R. *Využití 3D skenování v obrábění. Bakalářská práce.* Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2017, 50 s. Vedoucí práce: Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Bakalářská práce je v první části zaměřena na základní pojmy jako je zpracování obrazu, vlnová délka, digitalizace obrazu, reverzní inženýrství, fotogrammetrie, apod.. Dále jsou v práci popsány různé druhy 3D skenerů, principy, výhody a nevýhody. V další části byly popsány skenery od firmy GOM: ATOS a TRITOP. Experimentální část popisuje návrh opravy střížné hrany lisovacího nástroje, pro její realizaci byl použitý 3D optický skener ATOS. Závěr bakalářské práce analyzuje naměřené hodnoty a následně vyhodnocuje naměřené výsledky a porovnává naměřené hodnoty s původním CAD modelem a poté porovnává s dalším řešením bez použití 3D skeneru.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Plhák, R. *Using 3D scanning in machining. Bachelor work.* Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2017, 50 p. Thesis head: Lenka Cepova, Ph.D, MSc.

The bachelor thesis is focused on basic concepts such as image processing, wavelength, image digitization, reverse engineering, photogrammetry, etc. In the work are described different kinds of 3D scanners, principles, advantages and disadvantages. In the next section GOM scanners were describes: ATOS and TRITOP. Experimental part, describes the design of repair of the shearing edge of the pressing tool, for the implementation of it was enjoyed 3D optical scanner ATOS. Experimental part, describes the design of repair of the shearing edge of the pressing tool, for the implementation of it was enjoyed 3D optical scanner ATOS. The conclusion of the bachelor thesis analyzes the measured values and then evaluates the measured results and compares the measured values with the original CAD model and then compares it with another solution without using a 3D scanner.

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří všem zaměstnancům firmy KLEIN automotive s.r.o. za poskytnutí odborného vedení a dozor nad vykonanými úkony. Především chci poděkovat vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Čepové, Ph.D., také konkrétním zaměstnancům firmy, a to p. Miroslavu Babišovi a Michalovi Kuchařovi.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	9
1. Úvod	10
1.1 Představení společnosti Klein automotive s.r.o.	11
2. Obraz a jeho vnímání v různých vlnových délkách	12
3. Reverzní inženýrství	13
4. Digitalizace obrazu	14
4.1 Obrazové senzory.....	14
4.1.1 CCD senzor	14
4.1.2 CMOS senzor	15
4.2 Druhy digitalizace obrazu	16
4.3 Druhy 3D skenerů.....	17
4.3.1 Destruktivní 3D skenery	19
4.3.2 Mechanické 3D skenery (CMM)	19
4.3.3 Laserové 3D skenery	21
4.3.4 Ultrazvukové 3D skenery	23
4.3.5 Rentgenové 3D skenery	23
4.3.6 Optické 3D skenery	24
4.4 Systém TRITOP	25
4.5 Systém ATOS	28
4.5.1 Složení 3D skeneru ATOS	29
4.5.2 Druhy 3D skenerů ATOS od firmy GOM	29
5. Experimentální část.....	31
5.1 Popis experimentální části	31
5.2 ATOS III Triple Scan	31
5.3 Použitý software	33
5.4 Měřená součást.....	33
5.5 Navaření materiálu.....	34
5.6 Frézování na pětiosém obráběcím centru	37
5.7 Postup skenování	38
5.8 Výsledek opravy	40
5.9 Možné řešení bez použití 3D skeneru	42
6. Technicko-ekonomické zhodnocení.....	43
6.1 Výpočet nákladů při opravě za použití 3D skeneru.....	43
6.1.1 Výpočet nákladů procesu skenování.....	43
6.1.2 Výpočet nákladů procesu navařování	43
6.1.3 Výpočet nákladů procesu frézování	45

6.2	Výpočet nákladů bez použití 3D skeneru	45
6.3	Srovnání časů a finanční náročnosti opravy součásti po havárii s použitím 3D skeneru i bez jeho použití.....	45
7.	Závěr.....	46
	Seznam použité literatury	47
	Seznam obrázků	49
	Seznam tabulek.....	50

Seznam použitých symbolů a zkratk

Značení	Význam	Jednotky
CAD	Počítačem podporované projektování	[-]
CAM	Počítačová podpora obrábění	[-]
FEM	Metoda konečných prvků	[-]
CCD	Charge Coupled Device	[-]
CMOS	Complementary metal-oxide-semiconductor	[-]
CMM	Souřadnicový měřicí stroj	[-]
CNC	Číslicové řízení obráběcích strojů počítačem	[-]
f	Frekvence	[Hz]
c	Rychlost šíření vlnění v daném prostředí	[m/s]
λ	Vlnová délka	[m]
E	Energie fotonu	[J]
T_p	Teplota přehřevu	[°C]
t_{po}	Teplota popouštění	[°C]
v_c	Řezná rychlost	[m/min]
f_z	Posuv na zub	[mm/zub]
N_I	Mzdové a režijní náklady vztažené na svářeče	[Kč/kg]
S_{SV}	Hodinová sazba svářeče	[Kč/hod.]
G_{tav}	Výkon odtavení při svařování	[kg/hod.]
$t_{využ}$	Podíl času hoření oblouku z celkové pracovní doby	[%/100]
N_2	Náklady na přídavný svařovací materiál	[Kč/kg]
C_{SV}	Cena přídavného svařovacího materiálu	[Kč/kg]
V_{SV}	Využití přídavného materiálu	[%/100]
N_3	Náklady na ochranné plyny	[Kč/kg]
Q_{plyn}	Průtočné množství ochranného plynu	[l/hod]
C_{plyn}	Cena ochranného plynu	[Kč/l]

1. Úvod

Vývoj v odvětví informačních technologií se neustále žene kupředu a tím je umožněn neustálý pokrok i v takových odvětvích jako strojný průmysl, průmyslová výroba, stavební průmysl, lékařství, design, grafika, archeologie a mnoho dalších. Jinak tomu není ani v oboru digitalizace obrazu a optické metrologie. První známky použití principu digitalizace obrazu sahají až ke konci devatenáctého století, kdy byl namalován obraz malíře Georgese Seurata. Jeho obraz spočíval v tom, že ho celý nakreslil pomocí malých bodů. Ty se pak z většího odstupu jeví jako plynulý obraz. To je podstata digitalizace. Každý digitální obraz má různou velikost bitové hloubky. Čím je větší, tím může pojmout více informací. V současnosti je možné zaznamenat a zobrazit digitální obsah s takovou hloubkou, že lidské oko nedokáže rozeznat jednotlivé bity, a tak se zdá obraz dokonale čistý.

Počátky vývoje samotné optické metrologie a reverzního inženýrství sahají do konci osmdesátých let minulého století, v době, kdy vznikaly první digitální fotoaparáty a počítače se dostávaly k běžnému „domácímu“ využití. Největší posun se stal na přelomu tisíciletí, kdy se vývoj dostal do úrovně, kde 3D skenery dosahovaly dostatečné přesnosti k optickému měření deformací a kontrole kvality. Nyní 3D skenování prokazatelně snižuje náklady výroby a zvyšuje kvalitu výrobků. 3D zařízení se ve strojírenství nejčastěji používají ve dvou směrech, buď v reverzním inženýrství (rychlá výroba prototypů), nebo ke kontrole kvality. V současnosti dokáží vyvinutá zařízení podávat velmi přesné výsledky i v náročnějších podmínkách průmyslových hal, avšak tato zařízení jsou výsadou převážně jen větších firem, protože pořizovací náklady na tato zařízení jsou stále velmi vysoké. Strojírenské firmy využívají 3D skenery k měření deformací lisovacích nástrojů po haváriích, vytváření nových CAD dat a dokumentací, zjišťování výrobních nepřesností, nebo k porovnání naměřených dat s originálními daty dodávanými výrobcem skenované součásti.

Cílem této práce bylo vysvětlit základní pojmy, jako jsou reverzní inženýrství, digitalizace obrazu, fotogrammetrie a také poukázat na různé druhy 3D skenerů, které v současnosti výrobci nabízejí. V experimentální části bakalářské práce byl navržený možný postup opravy součásti. K realizaci byl použitý 3D optický skener ATOS III Triple Scan. Měřená součást je střížná matrice ze systému lisovacího nástroje, která je po havárii nástroje, kde došlo k deformaci řezné hrany. Navržený byl postup celé opravy součásti, kde byly posouzeny ekonomické výhody a nevýhody při použití 3D optického skeneru. V závěru se posuzuje technická a ekonomická stránka, která vyčísluje časovou náročnost a dále se porovnávají náklady s dalším možným řešením bez použití 3D skeneru.

1.1 Představení společnosti Klein automotive s.r.o.

Firma Klein automotive s.r.o. se zabývá především výrobou lisovaných, obráběných a svařovaných dílů pro automobilový průmysl. Společnost vznikla v roce 1994 privatizací s. p. JESAN Štíty, proběhla změna názvu na Klein & Blažek s.r.o. Výrobní proces je rozdělen ve dvou závodech.

1. hlavní závod disponuje lisovnou, kde se vyrábějí díly hlavně pro automobilku Škoda Auto a celý koncern Volkswagen. Jsou to nejčastěji výztuhy karoserií nebo jiné karosářské díly. Lisovna je vybavena lisy pro postupové i transferové automatické lisování kovů za studena o tonážích až 10000 kN. Výrobu doprovází proces svařování a to odporově, či obloukem od jednoduchých přivařovacích operací až po sestavy karosářských dílů. Využívají se k tomu svařovací lisy i automatická robotická pracoviště. V sekci pro obrábění se provádí opracování železných i neželezných kovů soustružením a frézováním výhradně na CNC strojích.

Ve 2. závodě se nachází automatická linka tepelného zpracování. Umožňuje tepelné zpracování dílů popouštěním, kalením, cementací a nitrocementací. V tomto závodě také probíhá doprovodná výroba zadních skupinových světlů pro osobní automobily a dílů do klimatizačních systémů automobilů.

2. Obraz a jeho vnímání v různých vlnových délkách

Jako nejčastější viditelné spektrum, ve kterém může být pořízen obraz digitálním fotoaparátem, je např. denní světlo. Může se ale stát, že je pořízen v oblastech záření, které není možné vidět lidským okem, např. infračervené snímky nebo rentgenové snímky. Před tím, než začneme snímky pořizovat, si nejprve musíme rozmyslet, za jakým účelem je pořizujeme, jaký má být výstup a postup jejich zpracování. Při skenování může nastat problém se zachováním stejných barevných odstínů jako na originálu, protože každý skener neobsahuje dostatečně široké barevné spektrum. Cíl při zachycování obrazu je ten, aby snímek obsahoval maximální informace potřebné k dalšímu zpracování, a proto nemůžeme tyto zdánlivé „maličkosti“ zanedbávat. Dalším aspektem, který je třeba brát v úvahu, je zařízení, na kterém budeme výsledek interpretovat (např. projektor nenabídne stejně kvalitní rozlišení jako Full-HD monitor).

Světlo je elektromagnetické vlnění, které je ve skutečnosti dvojdimenzionálním signálem. Obraz, který je snímán s různou vlnovou délkou (v různém spektru) zachycuje skutečnost zcela jinak. Prostupnost prostředí pro různou vlnovou délku vlnění je také důležitá, protože za mlhy se v infračerveném spektru zachytí něco jiného než ve viditelném prostředí. Např. radiové vlny, které se používají při pořizování obrazu v leteckém radiovém snímání, dokonale zmapují pohoří i přes husté mraky. O zvukové vlny se jedná v případě pořizování snímků pomocí ultrazvuku.

Vlnová délka záření, rychlost šíření vlnění a frekvence jsou spolu ve vztahu

$$f = \frac{c}{\lambda}, \quad (1)$$

kde: c je rychlost šíření v daném prostředí [m/s], f je frekvence [Hz], λ je vlnová délka [m].

Je známo, že lidské oko je schopno vnímat světlo v rozsahu od $400 \cdot 10^{-9}$ až do $700 \cdot 10^{-9}$ m (tj. 400 – 700 nm). Na Obrázku 1 je ukázána souvislost mezi frekvencí elektromagnetického vlnění, energií fotonu a vlnovou délkou. Oblast ultrafialového záření se nachází pod hranicí 400 nm. Záření s ještě menší vlnovou délkou se nazývá záření X a s dalším zkracováním vlnových délek mluvíme o gama záření. Na opačné straně spektra při vlnových délkách nad 700 nm se nachází infračervené záření, ve větších délkách je mikrovlnné záření a dále radiové vlny. Vztah mezi energií fotonu E a frekvencí elektromagnetického vlnění při dané vlnové délce je

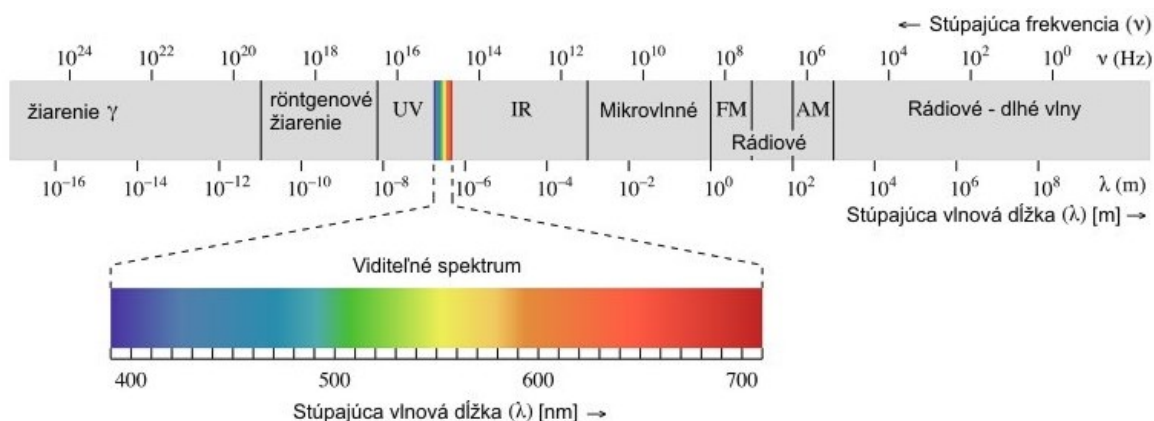
$$E = hf \quad [\text{J}] \quad (2)$$

kde: h je Planckova konstanta [$6,636 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$].

Někdy se Energie fotonu vyjadřuje v [eV], převodní vztah je

$$E = \frac{E}{e} \quad [\text{eV}] \quad (3)$$

kde: e je náboj elektronu [$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$].



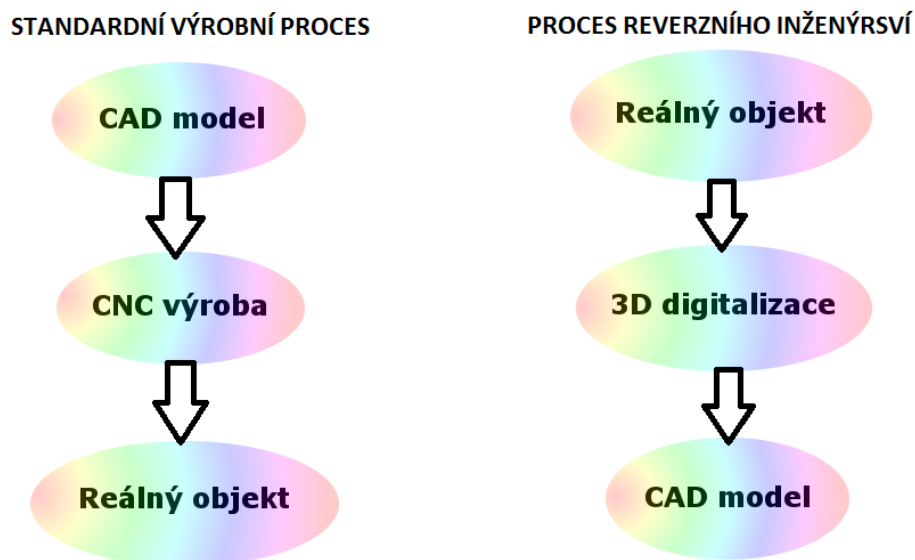
Obrázek 1 - Druhy elektromagnetického záření [2]

3. Reverzní inženýrství

Pojem reverzní inženýrství se definuje jako jev opačný k běžnému výrobnímu procesu. Ve strojírenství úzce souvisí s procesy 3D digitalizace. Cílem reverzního inženýrství je zaznamenat skutečný měřený objekt tak, aby byl dále použitelný v CAD softwarech. Nepoužívá se však jen k získání CAD dat existujícího dílu, v současnosti se používá ke zdokonalení výroby a vývoje výrobku. [13]

Formy vstupních dat pro reverzní inženýrství:

- Mraky souřadných bodů.
- Polygonální data.
- Objemový model.
- Plošný model.
- Řezy.



Obrázek 2 - Srovnání procesu reverzního inženýrství s klasickým výrobním postupem

4. Digitalizace obrazu

Reálný obraz, který vidíme, můžeme chápat jako spojitou veličinu – obrazovou funkci. Většinou nám soudobé technické prostředky nedovolí vytvořit veličinu jako spojitou. Diskrétní hodnoty ukládat dokážeme. Tyto diskrétní hodnoty získáme tak, že převedeme ze snímače původní analogový (spojitý) signál zastupující jas. Tento postup přeměny analogového signálu k diskrétní veličině se nazývá digitalizace. Všeobecně známý pojem pixel (Picture Element) jako digitální jednotka představuje jeden obrazový bod, který nese informaci o hodnotě jasu a o barvě. [1]

4.1 Obrazové senzory

Nejčastější a nejvyužívanější způsob, jak digitalizovat obraz je pořizování obrazu digitálním fotoaparátem a skenováním. Dva nejrozšířenější obrazové senzory se nazývají podle technologie přeměny informace: CCD (Charge Coupled Device) a CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor).

4.1.1 CCD senzor

CCD obrazový senzor je zařízení citlivé na světlo, které vytváří obraz. Je to destička, která se dodává nejčastěji o velikosti 1/3 – 1/2 palce. Postup snímání umožňují pixely, které vytvářejí elektrický proud podle množství světla, jenž na čip dopadá. Náboj se přenáší do jednoho z rohů čipu. V převodníku a datové sběrnici se vytváří z analogového digitální

signál, který je pak zpracováván v procesoru. Zařízení obsahující tyto senzory jsou drahé, protože některé obsahují až 3 CCD (pro červenou, zelenou a modrou složku). Na obrázku 3 je ukázka CCD senzorů, které používá firma Kodak ve svých přístrojích. V běžných fotoaparátech bývají umístěny ty nejmenší s úhlopříčkou 1/3 palce (na obrázku 3 vlevo). Podlouhlé tzv. lineární CCD se používají pro 3D skenery. Velká výhoda CCD senzoru je, že vytváří kvalitní obraz s minimem šumu. [3]

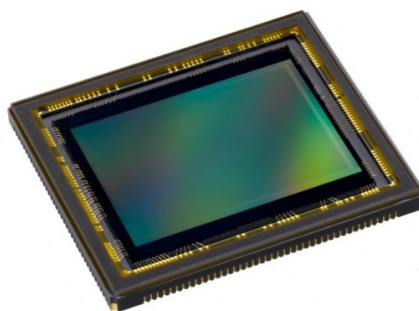


Obrázek 3 - Ukázky hotových CCD senzorů opatřené paticemi k připojení do přístroje [3]

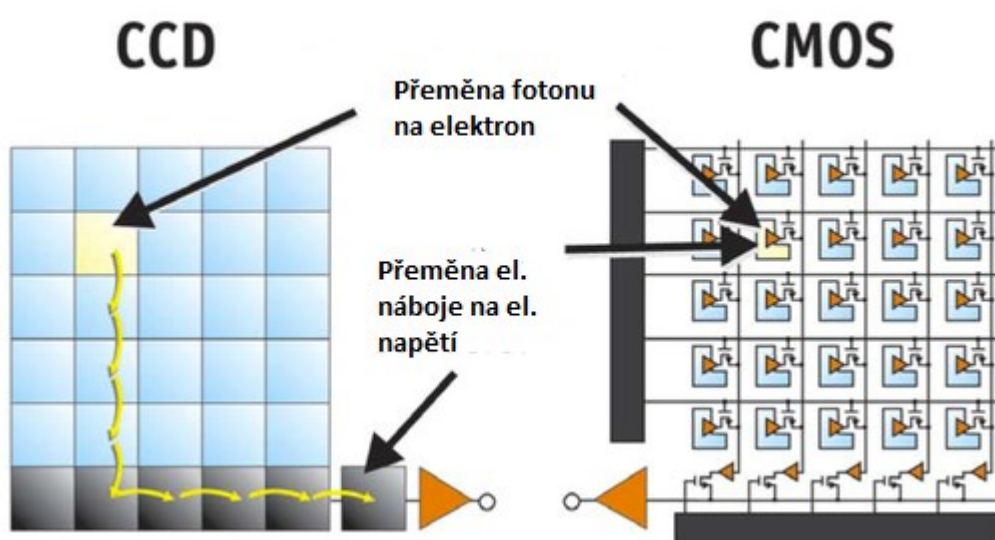
4.1.2 CMOS senzor

CMOS senzory jsou dnes nejrozšířenější druhy snímacích čipů používaných v digitálních fotoaparátech. Protože se vyrábějí stejným principem jako mikroprocesory, jejich výroba není tolik nákladná jako CCD senzory.

I CMOS senzor je posázený pixely citlivými na světlo. Velká výhoda je, že tyto čipy obsahují na každém pixelu vlastní transistor. Ten zvětšuje elektrický náboj. Každá buňka citlivá na světlo se vyhodnocuje zvlášť, a tak se výsledný signál nemusí posílat do dalších převodníků, protože už je přímo digitální. Tento postup je daleko rychlejší a levnější než v případě CCD senzoru. Dříve výsledné fotografie trpěly špatnou kvalitou a příliš velkým šumem. To se ale změnilo s příchodem inovační technologie BSI (back – side illumination). Ta umožnila snímači pojmout daleko více světla a zlepšit tím tak výslednou kvalitu. [4]



Obrázek 4 - Osazený CMOS senzor [4]



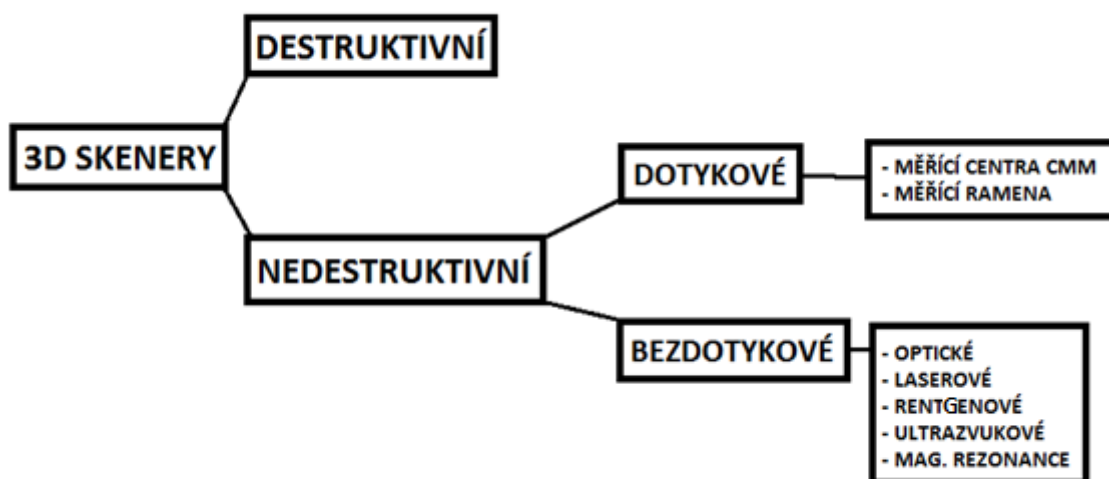
Obrázek 5 - Jeden z hlavních rozdílů CCD a CMOS chipu [15]

4.2 Druhy digitalizace obrazu

- Digitalizace ve 2D – Způsob zachycení reálného 3D obrazu a konvertování do 2D obrazu. Výsledek může být použitý přímo (digitální fotografie, výkresová dokumentace), nebo dále zpracováváný (pomocí vhodného softwaru jako je Adobe Photoshop, Autodesk AutoCAD, Creo, atd.).
- Digitalizace ve 3D – Je to postup zpracování reálného obrazu a převedení do 3D CAD dat. Tento proces zajišťují většinou 3D skenery s pomocí vhodného softwarového zařízení v počítači.

4.3 Druhy 3D skenerů

Známe mnoho metod a druhů 3D skenování a každá z nich umí uplatnit své výhody na různých polích působnosti. V některých oblastech je potřeba skenování provést rychle a není potřeba velká přesnost, jinde zase firmy požadují nízkou cenu zařízení nebo samotného skenování.



Obrázek 6 - Druhy 3D skenerů [5]

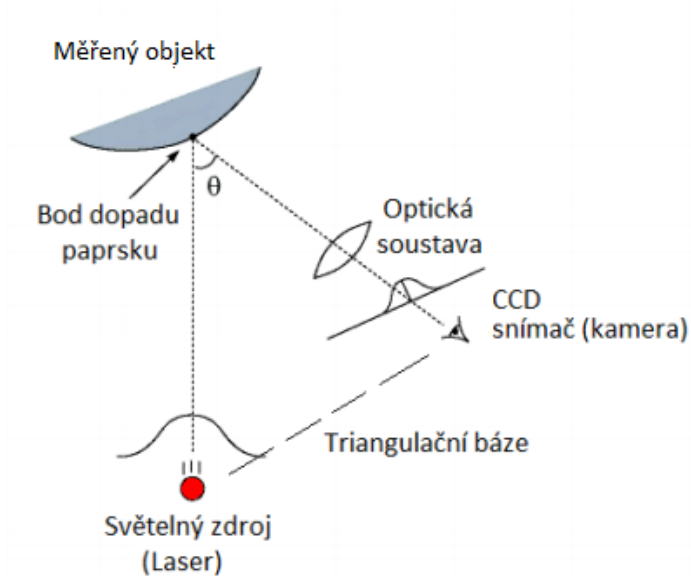
Základní dvě skupiny, do kterých můžeme 3D skenery rozdělit jsou kontaktní a nekontaktní (dotykové, bezdotykové). Ty, které potřebují pro získání 3D informace fyzický kontakt jsou kontaktní, ty které jej nepotřebují a k zaznamenání 3D informace využívají (mimo jiných) optických metod, jsou bezkontaktní.

Tyto metody, které disponují optickými zařízeními, se dále dělí na aktivní a pasivní. Např. u rentgenového, laserového nebo ultrazvukového skeneru je potřeba mít zdroj záření a také odpovídající přijímač. Těm se říká aktivní, protože vysílají „nějaké“ vlny. Ty pasivní zachytávají pouze paprsky záření snímané věci od okolního světla.

„Time of flight“ je nejjednodušší aktivní metoda optického skenování. Funguje tak, že zařízení počítá čas, za který se vyslaný paprsek záření odrazí od objektu a vrátí se zpět do přijímače. Další aktivní metoda je triangulační, neboli „Triangulation“. [8]

Metody aktivní triangulace

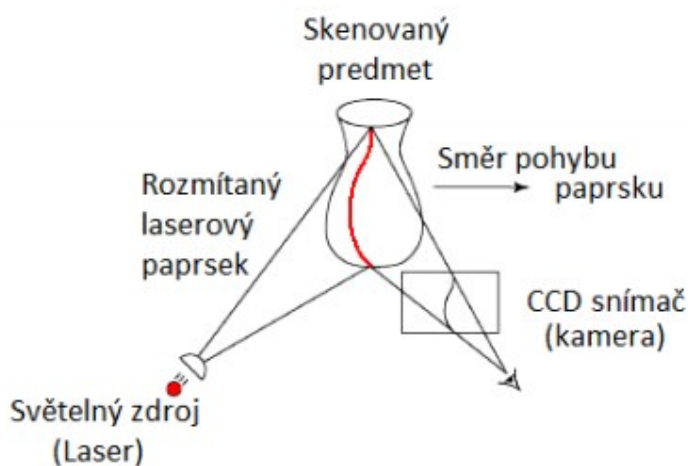
Aktivní triangulace pracuje na principu nasvícení skenovaného objektu LED diodou nebo laserem. Současně je objekt snímán CCD nebo CMOS kamerami. [16]



Obrázek 7 - 1D triangulace [16]

2D triangulace

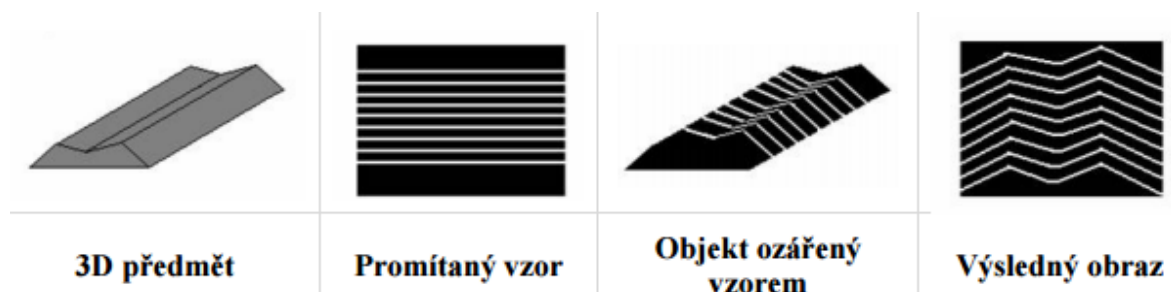
Skenovaný předmět je ozářen laserovým pruhem, který snímá CCD kamera. Dochází k posunu laserového pruhu po povrchu měřeného objektu. Za optickou soustavou a vysílačem laserového pruhu je umístěné zrcadlo, které je elektricky ovládané. Zrcadlo laserový pruh vychyluje, a tak je možné získat sérii snímků, ze kterých je možné poskládat povrch skenovaného objektu. [16]



Obrázek 8 - Princip 2D triangulace [16]

3D triangulace

Skenovaný objekt je projektorem ozářený světlem s určitým vzorem. Nejčastěji jsou to černé a bílé pruhy. Software sleduje a počítá deformace tvaru promítaných pruhů. Na základě této deformace se dá určit tvar objektu. [16]



Obrázek 9 - 3D triangulace [16]

4.3.1 Destruktivní 3D skenery

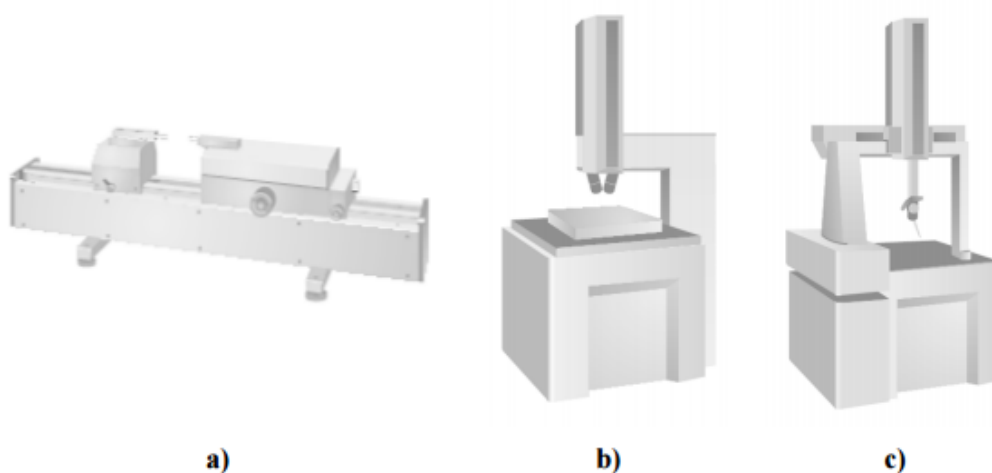
Destruktivní 3D skenery nejsou příliš rozšířené a jsou zvláštní tím, že se jedná v podstatě o frézu s kamerou. Nepoužívají se tolik, neboť při jejich použití dojde k poškození nebo zničení skenované části. Jako první se zalije skenovaná část do bloku tak, že kontrastní materiál bezchybně vyplní všechny prostor. Tyto vrstvy kontrastního materiálu se dále postupně po tenkých vrstvách stejné tloušťky odfrézovávají. Po každé odfrézované vrstvě se pořídí obrazový snímek se záznamem informace o výšce, z jaké byla fotografie pořízena. Vhodný počítačový software pak na každé z těchto fotografií nalezne okraje vyfrézované kontrastní vrstvy. Všechny tyto křivky následně spojí a vznikne 3D soubor bodů. [8]

4.3.2 Mechanické 3D skenery (CMM)

Jedná se o dotkový způsob skenování, které je možno použít téměř na každém souřadnicově měřicím stroji (CMM). Stroj se skládá z ramena. Na něm je připevněná měřicí hlava a na ní hrot s kuličkou. Ta obsahuje senzitivní snímače. Hrot s kuličkou „objíždí“ povrch objektu. Když dojde k doteku kuličky s povrchem, hrot se vychýlí a software zaznamená aktuální polohu měřicí hlavy a zapíše ji jako jeden bod. S každým dalším dotekem další bod. Nevýhoda je, že celý proces je pomalý. Alternativou může být rozšiřující zařízení, které rychlost zvyšuje. Je to laserová sonda, která se připevní místo hrotu s kuličkou a využívá triangulační metodu. [8]

Základní rozdělení CMM podle konstrukce:

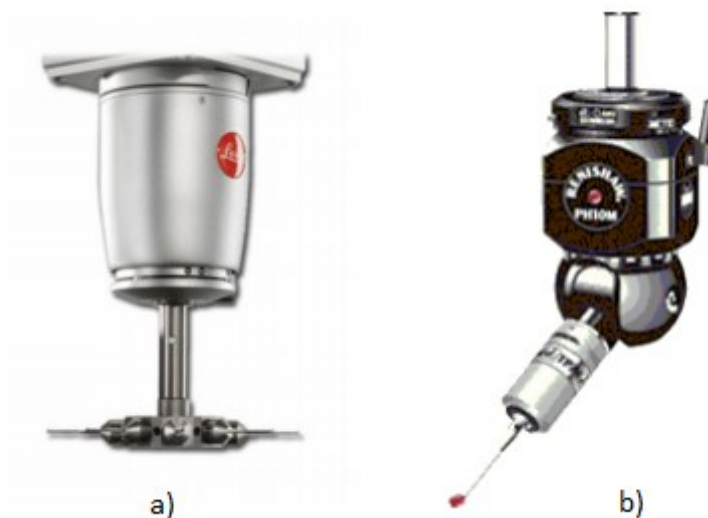
- Jednosouřadnicové měřicí zařízení – Je na něm možné měřit pouze ve vodorovném směru (ve směru osy x). Zařízení disponuje velmi vysokou přesností měření. Odchyłky se pohybují okolo 0,6 – 6 μm , a to i při měření součástí o velkých rozměrech. [16]
- Dvousouřadnicové měřicí zařízení – Na těchto strojích je možné měřit ve dvojici na sobě kolmých osách x a y. Ve 2D se využívají skenery, laserové interferometry a mikroskopy. [16]
- Třísouřadnicové měřicí zařízení – Měří se ve třech směrech x, y a z. Stroje představují velkou úsporu času, protože je možné daný objekt měřit na jedno upnutí. [16]



Obrázek 10 - Konstrukční rozdělení CMM: a) Jednosouřadnicové zařízení, b) Dvousouřadnicové měřicí zařízení, c) Třísouřadnicové zařízení [16]

Typy hlavic měřicího systému připevněné na souřadnicový měřicí stroj:

- Pevné hlavice – Tyto hlavice disponují vyšší přesností než polohovatelné, ale není možné je natáčet, a tak je jejich použití omezené.
- Polohovatelné hlavice – Hlavici je možné prostorově polohovat (ve směru osy x, y, z). Existují různé druhy polohovatelné buď motoricky nebo manuálně. [16]

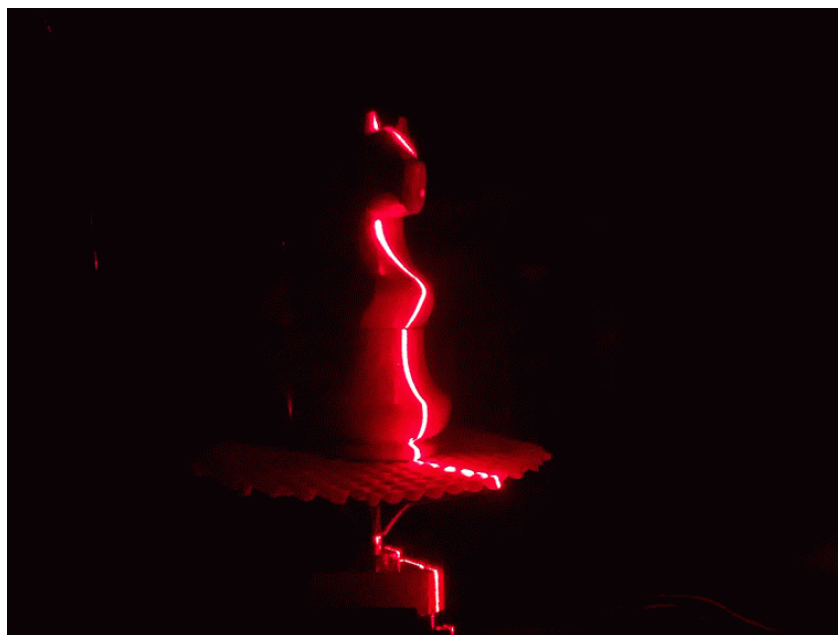


Obrázek 11 - a) pevná snímací hlavice, b) polohovatelná snímací hlavice [16]

4.3.3 Laserové 3D skenery

Laserové 3D skenery jsou dnes hodně používaný typ, využívají se buď jen pro rozšíření mechanických skenerů, nebo jako samostatné zařízení. Je to aktivní metoda digitalizace obrazu a využívá metodu triangulace. Princip spočívá v tom, že skener zpracovává odraz laserového paprsku ve formě čáry nebo složitějšího obrazce, od povrchu skenované součásti. Skener se skládá z vysílače paprsků a ze snímací kamery. Počítač vyhodnotí, za jak dlouho se vyslaný paprsek vrátí do snímací kamery a pod jakým úhlem. Může tedy určit přesnou pozici součásti v prostoru a její přesný tvar. Aby bylo docíleno úplného proskenování, je potřeba skener nebo skenovanou část natáčet v prostoru, přičemž musí být zaznamenána informace o poloze skeneru. U mechanických laserových skenerů informaci o poloze osnůmačů známe, není tak problém, aby software absolutní polohu skeneru dopočítal.

Skenování laserovým zařízením má mnoho výhod i nevýhod. Jako hlavní výhodu lze brát jeho vysokou přesnost měření. Proti ostatním druhům skenerů je jednodušší a rychlejší používání. Laserová zařízení mají schopnost rozpoznat např. zda jsou otvory ve skenovaném objektu průchozí nebo neprůchozí, také prohlubiny a výstupky. Skener je schopný měřit i skutečně velká tělesa. Jeho hlavní nevýhodou je však vysoká cena oproti jiným typům skenerů. Při skenování těles s lesklými povrchy je nutné tělesa předem vhodně upravit.



Obrázek 12 - Příklad skenování laserem [17]

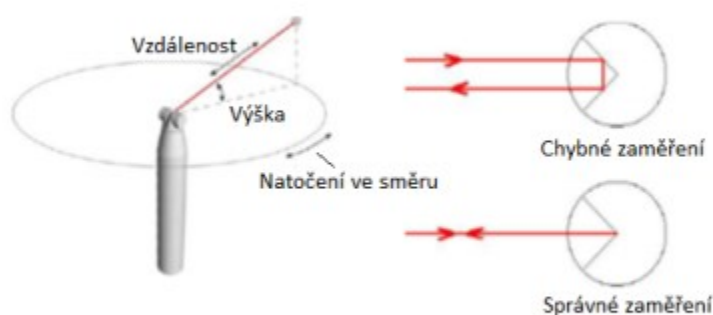
Problém nastává u typů skenerů, které se drží v ruce. Tam absolutní poloha známá není. Pro tento případ se používá metoda trackování, nebo metoda referenčních značek.

Metoda s referenčními body využívá principu triangulace. Referenční značky se musí na objekt umístit ještě před samotným skenováním. Skenování je úspěšné, když skenovací kamery vidí ve všech záběrech alespoň 3 tyto značky. Díky tomu je software schopen přesně určit, kde se snímaná součást nachází. Tento typ skenerů se používá pro nenáročné technické aplikace a cenově je dostupný. Zařízení, které využívá tuto metodu, může být např. mobilní laserový skener HandyScan 3D.



Obrázek 13 - Ruční laserový 3D skener HandyScan 3D [8]

Laserové trackování se může využívat pro měření velkých dílů přímo v externím prostředí. Systém měří dva úhly a vzdálenost. Laserová hlava koná rotační pohyb pomocí dvou servomotorů. Z této hlavy je vysílán laserový paprsek. Obraz laserového paprsku, který je odražen zpět na reflektor, se aktualizuje 1000krát za sekundu. To umožňuje měřit s velkou přesností. Souřadnice jsou přenášeny do počítače, kde je vyhodnocuje software a vytváří již zmíněný obraz. Zařízení nejprve zaznamená několik bodů na povrchu součásti pro určení souřadného systému. Úhel reflektoru měří dvě úhlová čidla. Pro záznam vzdálenosti se používá zabudovaný laserový interferometr. Paprsek se rozdělí do dvou svazků, jeden dopadá zpět na interferometr a druhý na elektrický obvod. Tam se vypočítá vzdálenost na základě změn vlnových délek. [16]



Obrázek 14 - Určení pozice reflektoru [16]

4.3.4 Ultrazvukové 3D skenery

Tento typ skeneru se dnes prakticky nepoužívá pro jeho značně malou přesnost. Funguje metodou bezkontaktního snímání. Manuální skenování je prováděno ultrazvukovou sondou, která je umístěna na pistoli s kovovým hrotem. Stisknutím tlačítka se vyšle ultrazvukový signál, který prozáří skenovaný objekt, odrazí se a vrátí do ultrazvukových čidel. Získaný odražený signál je následně převeden do 3D souřadnic. Jak už bylo zmíněno, výsledky nejsou příliš přesné (0,3-0,5 mm), což ve většině případů není přijatelné. Výhodou může být nízká cena. [8]

4.3.5 Rentgenové 3D skenery

Rentgenové 3D skenery vznikly s potřebou nedestruktivního zjišťování vnitřních a neviditelných částí zkoumaných předmětů. Používají se rentgenové paprsky tak jako při

rentgenových nedestruktivních zkouškách, které slouží k zjištění vnitřních vad. Skenovaný objekt není potřeba před skenováním nijak upravovat. Vloží se do uzavřené komory, tam se otáčí a je prozářen ze všech stran. Vhodný software zpracuje všechny pořízené snímky a spočítá výsledný 3D obraz. Nevýhoda je, že přístroj je velmi drahý a prostory pro skenování malé. Za to disponuje vysokou přesností a pohodlností, s kterou se dají objekty skenovat. [8]

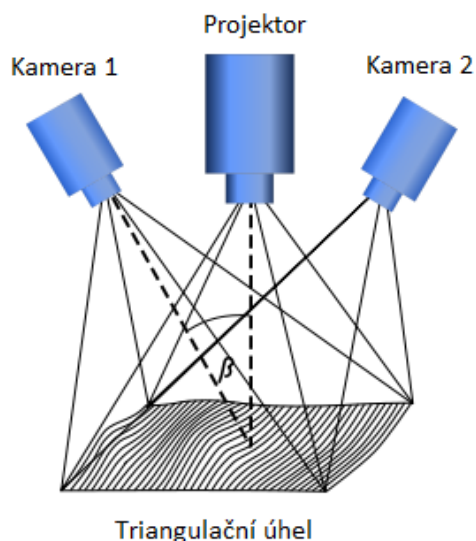


Obrázek 15 - Rentgenový 3D skener DeskTom [6]

4.3.6 Optické 3D skenery

Hlavní výhodou optických 3D skenerů je jejich rychlost. Optický skener dokáže snímat naráz celou plochu objektu a výsledek ukládá v různých formátech. Dnešní přístroje dokáží z odebraných dat získat řezy, nebo vygenerovat křivky povrchu, které se poté porovnají s původními CAD daty. S pomocí softwaru se vyhodnotí odchylky a zaznačí kontrastní barvou. Hlavní nevýhodou optických skenerů je, že systém nedokáže rozpoznat průchodnost děr. Systém od firmy GOM, ATOS III Triple Scan je využíván v experimentální části práce. [9] [16]

Optické skenery se skládají ze dvou hlavních částí: pruhového projektoru a digitální kamery (fotoaparátu). Skenovaný objekt je umístěn před optický skener. V průběhu skenování je objekt skenovaný z několika úhlů. Součást může být otáčena manuálně nebo na automatickém otočném stole. Na měřený objekt jsou vysílány paprsky světla ve tvaru proužků a poté ho snímá jedna nebo dvě kamery. Systém využívá metody triangulace a za jeho pomoci je ze 2D snímků vytvořený 3D model. [16]



Obrázek 16 - Promítání pruhů a triangulace [16]

Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je definována jako odvětví vědy zabývající se zpracováním informací z fotografií, tzn. umístění předmětů, které jsou na fotografiích, jejich tvary a rozměry. Pokud jsou zachovány některé vlastnosti fotografie, jako jsou umístění středu fotoaparátu, distance (vnitřní orientace snímku), ohnisková vzdálenost, lze objekty ze snímků rekonstruovat. Fotogrammetrie se používá v oborech, jako jsou kartografie, archeologie, architektura a metrologie. [16] [18]

Rozdělení fotogrammetrie podle počtu vyhodnocovaných snímků:

- Jednosnímková – Z jednoho pořízeného snímku nelze změřit nebo odvodit 3D souřadnice, a tak jsou výstupem této metody jen souřadnice v jedné rovině. Využití nalezne v architektuře stavebnictví a archeologii. [18]
- Dvousnímková – Měření probíhá ze dvou snímků. Pokud je měřený objekt obsažen na obou snímcích, je možné získat jeho 3D prostorové souřadnice. Tato metoda je dnes využívána nejvíce a nazývá se stereofotogrammetrie. [18]

4.4 Systém TRITOP

Systém TRITOP je přenosné měřicí zařízení, které využívá fotogrammetrii. Využívá se pro ruční měření a s pomocí softwaru dokáže vytvořit z několika snímků přesná 3D CAD data. Může fungovat samostatně, nebo jako rozšíření optických zařízení ATOS. Systém, podobně jako u CMM strojů, zapisuje jednotlivé souřadnice skenovaného objektu

a na základě toho může vyhodnotit různé informace, jako jsou povrchové body a řezy, díry, hrany, úhly a celkovou orientaci v prostoru. [8], [16]

Celý systém se skládá z několika komponent:

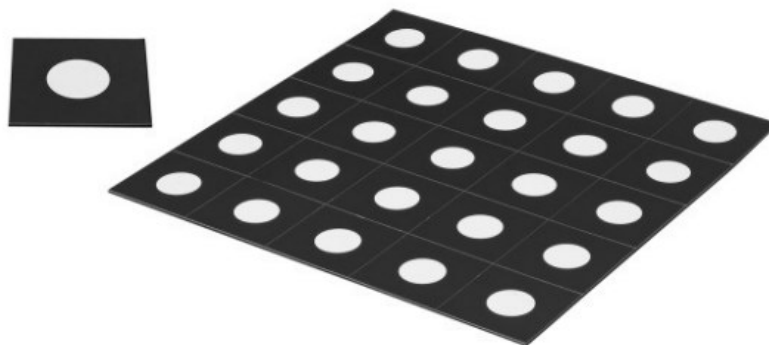
- Digitální fotoaparát – Společnost GOM nabízí ve své nabídce dva fotoaparáty, které jsou vhodné každý pro různé velikosti měřených objektů. Canon EOS-1D, ten je vhodný pro méně náročná měření nebo měření menších objektů, kde postačuje velikost fotografie 12 MPx. Druhý z nabídky je Nikon D300s. Ten disponuje rozlišením CCD chipu až 18 MPx a šířkou záběru větší než u fotoaparátu Canon. Je tak lépe využitelný pro měření větších objektů a je také přesnější. Technologie Wi-Fi, která je obsažena v obou fotoaparátech, umožňuje zařízení rychle a pohodlně připojit k počítači a ihned sdílet pořízené fotografie. [8] [16]



Obrázek 17 - a) fotoaparát Canon EOS 1D, b) Nikon D300s [16]

- Kalibrační tyče – Nejčastěji se používají karbonové. Ty vykazují výsledky s větší přesností než z jakýchkoli jiných materiálů. Kalibrační tyče se přikládají k měřenému objektu a slouží k zavedení měřítka. Díky tyčím dokáže systém přepočítat pixely z fotografie na jednotku délky. Nejvhodnější je použít velikost tyče takovou, jaký je maximální rozměr skenované součásti. Od výrobce je možné dostat několik velikostí: 250 mm, 500 mm, 1000 mm, 2000 mm. [8]
- Referenční značky – Referenční body, jsou ve skutečnosti bílé kruhy, které se nalepí na měřený objekt. Když se fotoaparátem pořídí snímky součástí

z různých úhlů, musí být zachyceny v každém snímku nejméně tři. To umožní softwaru umístit fotografie do souřadného systému a spojit v 3D model. [8] [16]

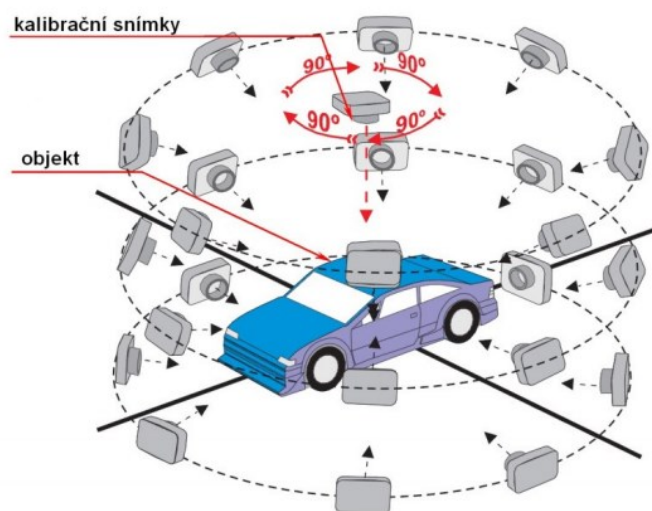


Obrázek 18 - Referenční značky [8]

- Adaptéry a software TRITOP – Existují válcové, hranové, půlkulové a další adaptéry, které slouží k přesnému měření středů děr, polohy válcových částí nebo kulových ploch. [8]

Postup při procesu měření systémem TRITOP:

- Příprava skenovaného objektu – nalepení referenčních značek a nástřik antireflexním (nejčastěji křídovým) sprejem [16]
- Měření (snímání objektu fotoaparátem) – Měřená součást se fotografuje v rozložení blížícímu se polokouli. Mezi snímky by měl být úhel alespoň 30° . [16]



Obrázek 19 - Postup při fotografování objektu [8]

- Vyhodnocení výsledků měření – Poté, co se pořízené fotografie exportují do počítače, software podle referenčních značek vytvoří mrak bodů a přemění je tak v polygonální síť. [16]

Systém TRITOP je možné použít v mnoha oblastech: kontrola kvality, optimalizace procesů, ověření dílů při kontrole prvních dílů, analýza deformací. Jeho hlavní výhodou je rychlost vytvoření 3D modelu (celý postup trvá přibližně 1 hodinu). Nevýhodou může být nevhodnost pro měření sérií výrobků. [8] [16]

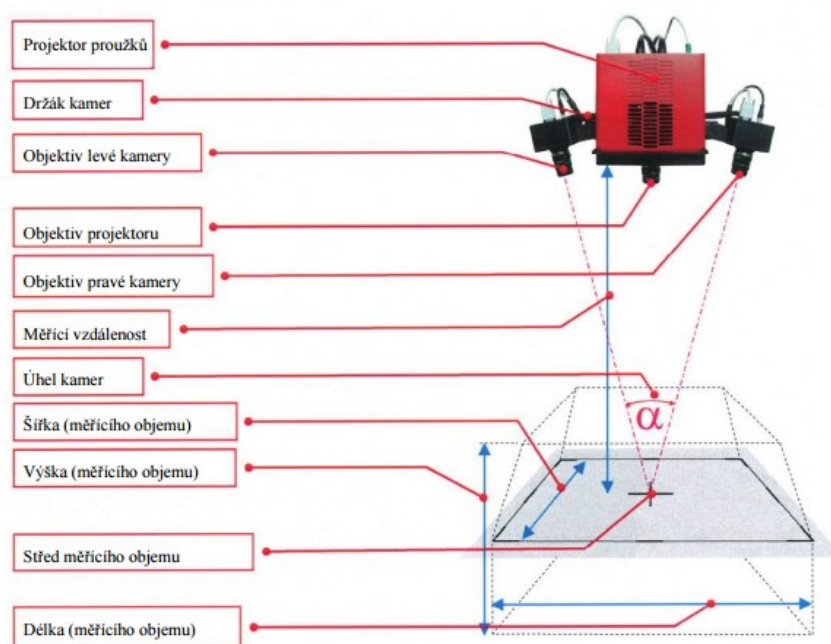
4.5 Systém ATOS

ATOS (Advanced Topometric Sensor) je pohyblivé bezkontaktní optické 3D zařízení od firmy GOM. Je určené pro různé využití. Skenování poškozených tvarových částí nebo i celých složitých sestav lisovacích nástrojů, ukládání optimalizovaných dat, přesnou a efektivní kontrolu kvality výroby umožňuje velká flexibilita, velké rozlišení a vysoká výkonnost tohoto 3D skeneru. Nejčastěji se zařízení využívá ve FEM, CAD a CAM oblastech, kde se skenují a měří objekty z reálné praxe a srovnávají se se spekulativními modely. Všechna zařízení firmy GOM mohou být doplněna o rotační stůl, který je vhodný použít při opakovaném měření stejných objektů. Pro plné automatizování procesu skenování může posloužit počítačem řízený robot. Systém ATOS využívá postupu triangulace. Využívá k tomu stereo efekt za použití dvou snímacích kamer a projektoru. Projektor osvětluje skenovaný objekt různě širokými pruhy, které jsou pak snímány oběma kamerami. Každý záběr má rozlišení 800 000 bodů. Aby bylo dosaženo celkové digitalizace, je potřeba objekt nasnímat z různých úhlů. Systém ATOS sám převede tyto pořízené záběry do společného souřadného systému. Poté je možné výsledek dále upravovat. [10]



Obrázek 20 - Optický 3D skener ATOS III [11]

4.5.1 Složení 3D skeneru ATOS



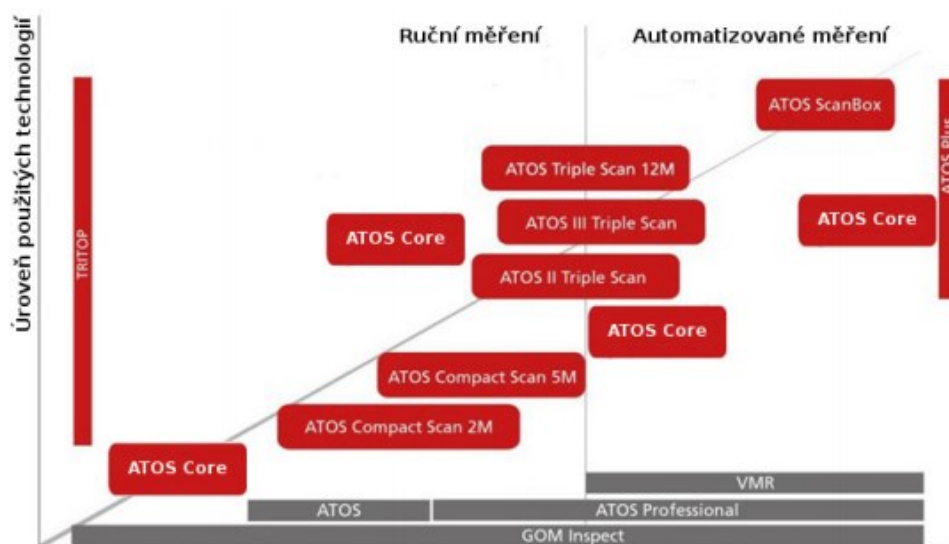
Obrázek 21 - Hlava 3D skeneru ATOS [10]

Hlavní část 3D skeneru ATOS je skenovací hlava. Na ní jsou umístěny dvě CCD kamery o různém rozlišení (podle typu ATOS zařízení) a projektor, který promítá již zmíněné proužky.

4.5.2 Druhy 3D skenerů ATOS od firmy GOM

Na trhu s optickými skenery se dnes nachází mnoho firem. Já při své experimentální části používám ATOS III Triple Scan, proto zde rozeberu aktuální zařízení, které tato firma nabízí.

Firma GOM vznikla v Německu roku 1990. Zabývá se výrobou skenerů v nejnáročnější high-end oblasti pro požadavky automobilového a leteckého průmyslu. [12]



Obrázek 22 - 3D skenery od firmy GOM [8]

Tabulka 1 - Základní rozdělení systémů ATOS [12]

SYSTÉM	ATOS Compact Scan	ATOS Triple Scan
Rozlišení CCD chipu	2 x 2 000 000 – 5 000 000	2 x 5 000 000 – 12 000 000
Plocha měření [mm^2]	40 x 30 – 1200 x 900	38 x 29 – 2000 x 1500
Hustota bodů [mm]	0,01 – 0,62	0,01 – 0,79
Počet naměřených bodů na jeden záběr	2 – 5 milionů	5 – 12 milionů
Technologie modrého světla	Ano	Ano
Triple Scan	Ne	Ano
Notebook	Ano	Ano
Řídící jednotka	Externí	Interní
Laserové odměřování vzdálenosti	Ano	Ano

4.5.2.1 ATOS Compact Scan

Moderní 3D skener ATOS Compact Scan je základní řadou skenerů firmy GOM. Využívá technologii modrého světla ATOS Blue Light. Tato technologie zpřesňuje měření projekcí modrého světla LED diodami. Není tolik citlivé na změny okolního světla. LED diody disponují vysokou životností oproti dříve používaným halogenovým lampám. ATOS Compact Scan existuje ve dvou variantách: ATOS Compact Scan 2M a ATOS Compact Scan 5M. Jak napovídají názvy, hlavní rozdíl těchto dvou skenerů je rozlišení jejich CCD kamer. U verze 2M kamery disponují rozlišením 2 megapixely a vyšší verze 5 megapixely. [8], [12]

5. Experimentální část

5.1 Popis experimentální části

Postup řešení opravy konkrétní součásti po havárii lisovacího nástroje. Jako hlavní část popíšu postup při skenování optickým skenerem ATOS III Triple Scan a vyhodnocování získaných 3D dat, tzn. provedu porovnání s původními CAD daty. Také bude popsán návrh postupu řešení opravy navařením a obráběním na pětiosém obráběcím centru Mikron HPM 800 U. V experimentu budou zaznamenány časy operací a provedeno srovnání s řešením bez použití 3D skenovacího zařízení. Experiment byl proveden v prostorách pro 3D měření ve firmě Klein automotive Štíty.

Pořadí operací při opravě deformovaného dílu za použití 3D skeneru:

1. Skenování
2. Proces navaření přídavného materiálu
3. Skenování
4. Proces frézování
5. Skenování
6. Vyhodnocení

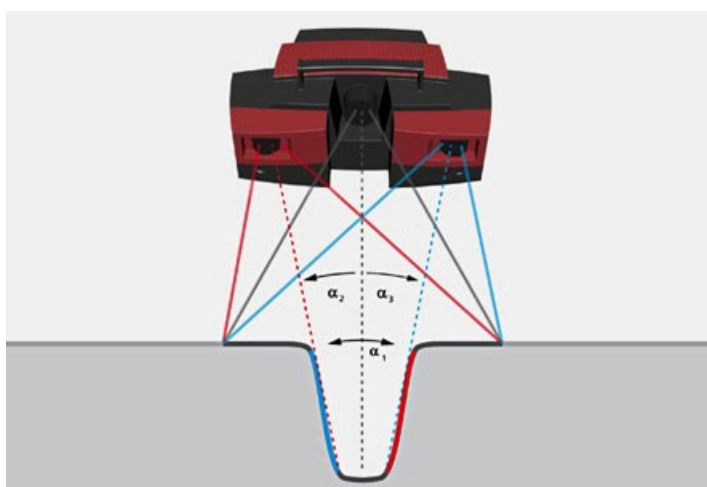
5.2 ATOS III Triple Scan

Zařízení ATOS III Triple Scan patří k nejvýkonnějším skenerům, které firma GOM nabízí. Zařízení je připraveno pro použití v náročnějších podmínkách tím, že má pevnější

konstrukci a karbonový kryt. Ve firmě KLEIN automotive se používá i přímo v provozní hale pro skenování nástrojů přímo upnutých v hydraulických lisech. Chloubou je technologie Triple Scan. Ta umožňuje skenování velkých a složitých objektů jako jsou celé sestavy lisovacích nástrojů a platových výlisků.

Funkce Triple Scan

Tato funkce využívá vestavěného projektoru a dvojice CCD kamer. Princip spočívá v zachycení celkem tří záběrů na jedno měření, to znamená, že zachytí tři pohledy na skenovanou součást. Tímto je dosaženo menšího počtu skenů s větší kvalitou. Umožňuje také skenování lesklých i složitých povrchů.



Obrázek 23 - Funkce Triple Scan [15]

Tabulka 2 - Druhy zařízení ATOS Triple Scan

	ATOS III Triple Scan
Rozlišení CCD chipu	2 x 8 000 000
Plocha měření (mm^2)	38 x 29 – 2000 x 15000
Hustota bodů (mm)	0,01 – 0,61
Počet naměřených bodů na jeden záběr	8 milionů

5.3 Použitý software

ATOS Professional

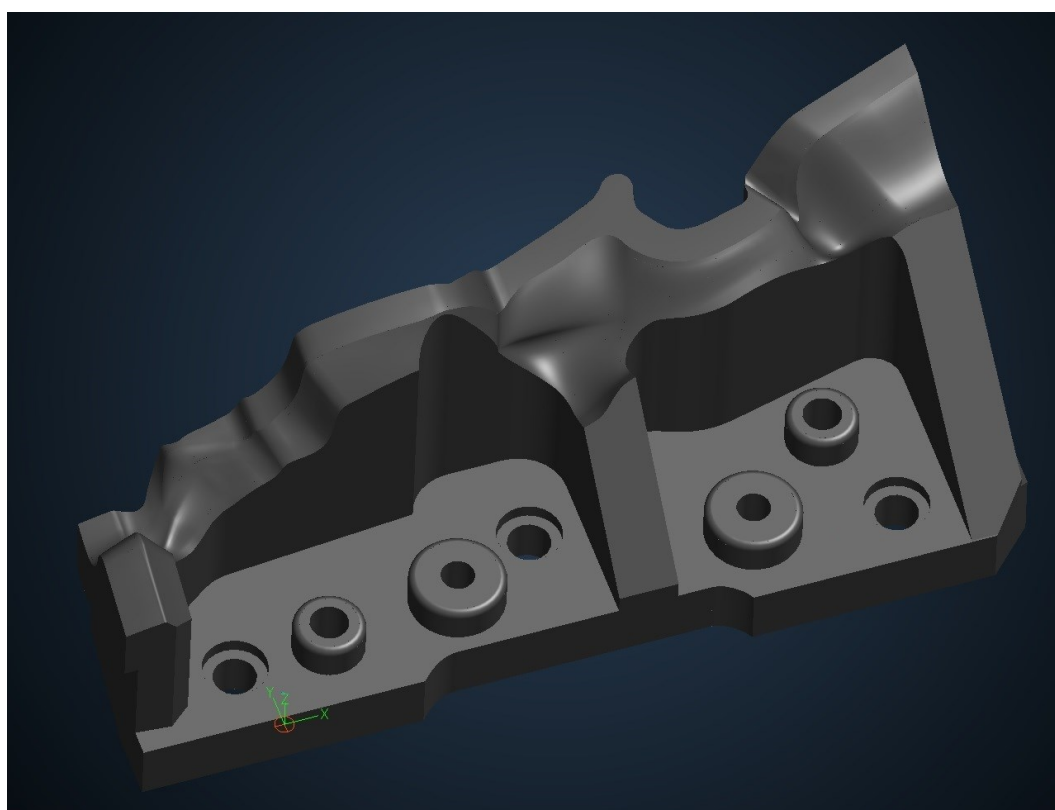
Tento software řídí 3D skener a vytváří 3D data povrchu skenované součásti. Poskytuje intuitivní nastavení parametrů pro konkrétní použití. Je dodáváný spolu s použitým skenerem od firmy GOM.

GOM Inspect

Software, který analyzuje pořízená 3D data ze softwaru ATOS Professional. Provádí se zde ustanovení a srovnání naměřených dat s nominálními a vyhodnocují se odchylky.

5.4 Měřená součást

Měřenou součástí je střižná matrice ze systému nástroje, která disponuje ostrou střižnou hranou, sloužící k oddělení a tváření plechového výlisku od zbytku plechu. Velikost součástí je 135 mm x 385 mm x 168 mm.



Obrázek 24 - Skenovaná součást

Jelikož je součást během procesu výroby vystavena účinkům mechanických rázů a kombinovanými silami tahu, tlaku a ohybu, je důležité, aby byla součást vyrobena

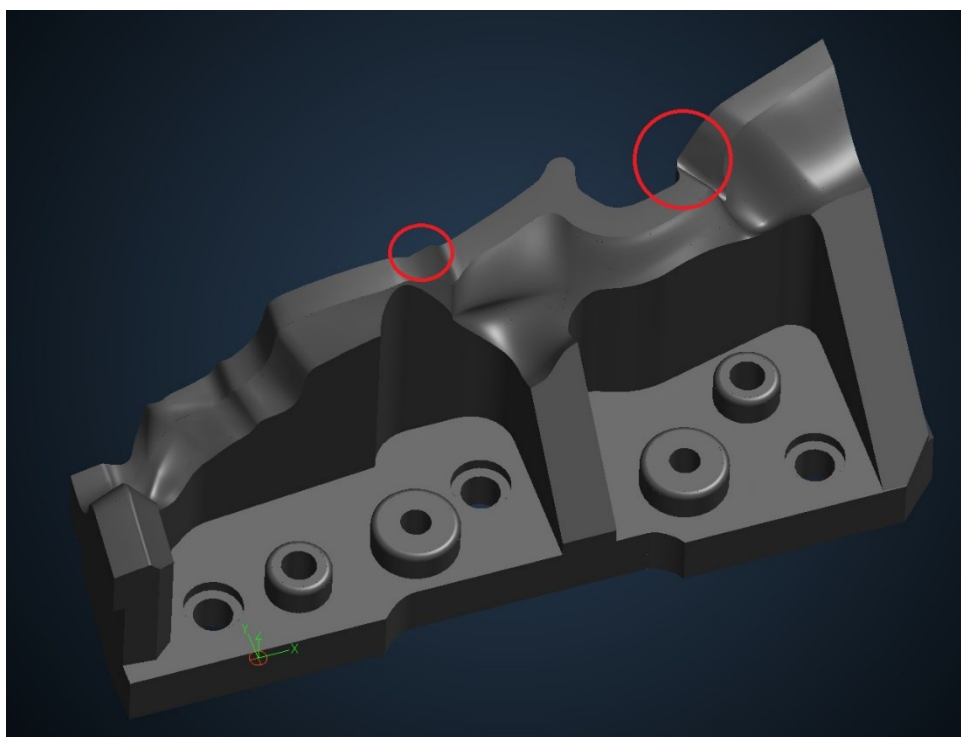
z vhodného materiálu. Měřená součást je z vysoce legované ledeburitické nástrojové oceli ČSN 19 573. Tato ocel disponuje velkou prokalitelností, odolností proti opotřebení a tlakovému namáhání. Využívá se pro velmi namáhané střižné nástroje, nástroje pro tváření za tepla i za studena, dále např. drcení nebo mletí (kladiva a čelisti drtičů).

Tabulka 3 - Chemické složení materiálu 19 573 v %

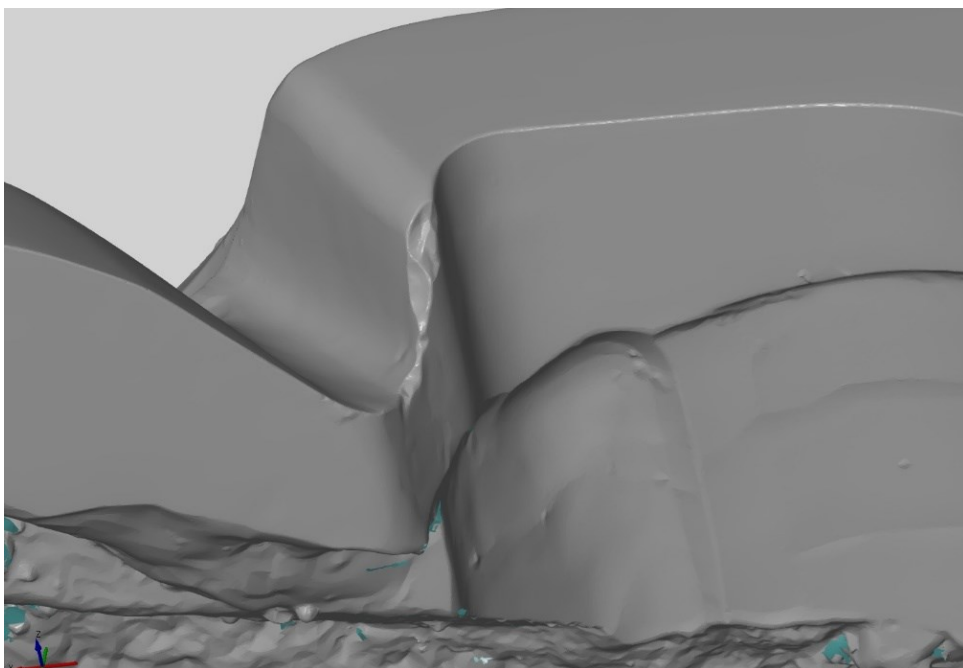
C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1,6	0,3	0,3	12	0,7	1

5.5 Navaření materiálu

Při havárii nástroje došlo na součásti k deformaci řezné hrany na dvou místech.

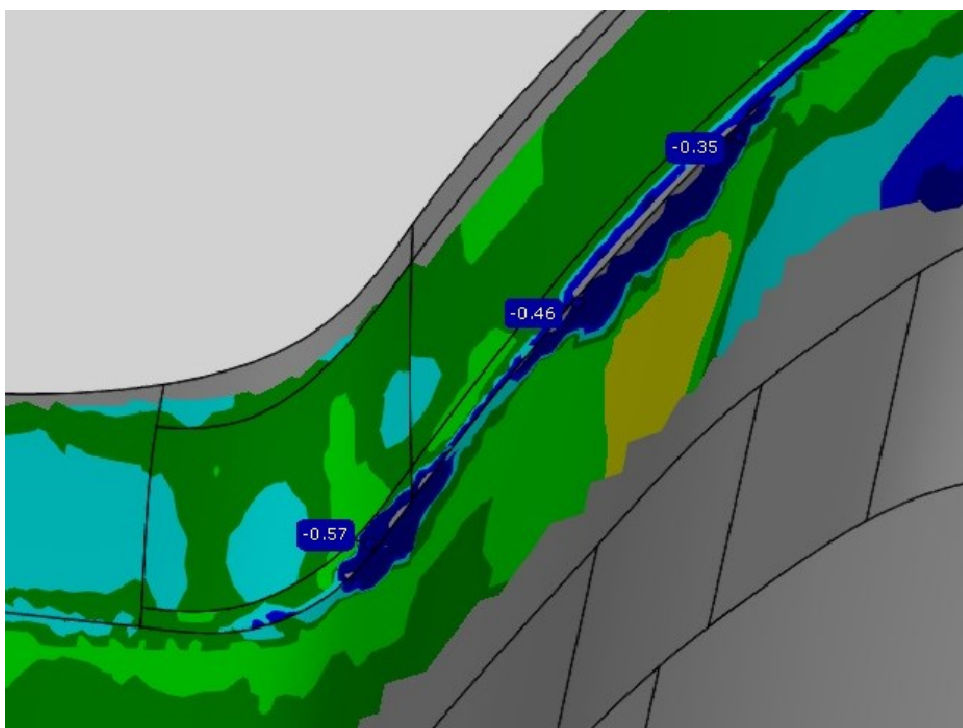


Obrázek 25 - Místa deformace řezné hrany



Obrázek 26 - Deformace řezné hrany

Před začátkem samotného procesu navařování byla součást naskenována a byly vyčísleny odchylky deformované řezné hrany od CAD dat původní součásti. To pomůže svářeči snadněji odhadnout velikost návaru.



Obrázek 27 - Odchylky deformované hrany od původní součásti

Jako první bylo nutné provést úpravu svarových ploch. K tomu bylo využita ruční pneumatická bruska Metabo DG 25 Set. Následovalo celkové očištění a odmaštění průmyslovým odmašťovačem Technosol.

Čas operace: 15 min.

Bylo použito obloukové svařování wolframovou elektrodou v ochranném plynu TIG - 141 (Tungsten Inert Gas). Součást byla předehřátá v komorové peci Carbolite GPC na teplotu T_p , která byla vypočítaná podle doporučení výrobce, přiloženém s přídavným materiálem. Byl zvolený vysoce legovaný přídavný svařovací materiál s prvky Cr-W-V CRONITEX Rc 63 o průměru 0,8 mm. Tvrdost tohoto materiálu po navaření TIG dosahuje až 62 HRC. Výrobce doporučuje zvolit teplotu předehřevu 40 °C pod teplotou popouštění základního materiálu. Popouštěcí teplota základního materiálu $t_{po} = 300$ °C, tzn.:

$$T_p = t_{po} - 40^\circ C \quad (4)$$

$$T_p = 300^\circ C - 40^\circ C$$

$$T_p = 260^\circ C$$

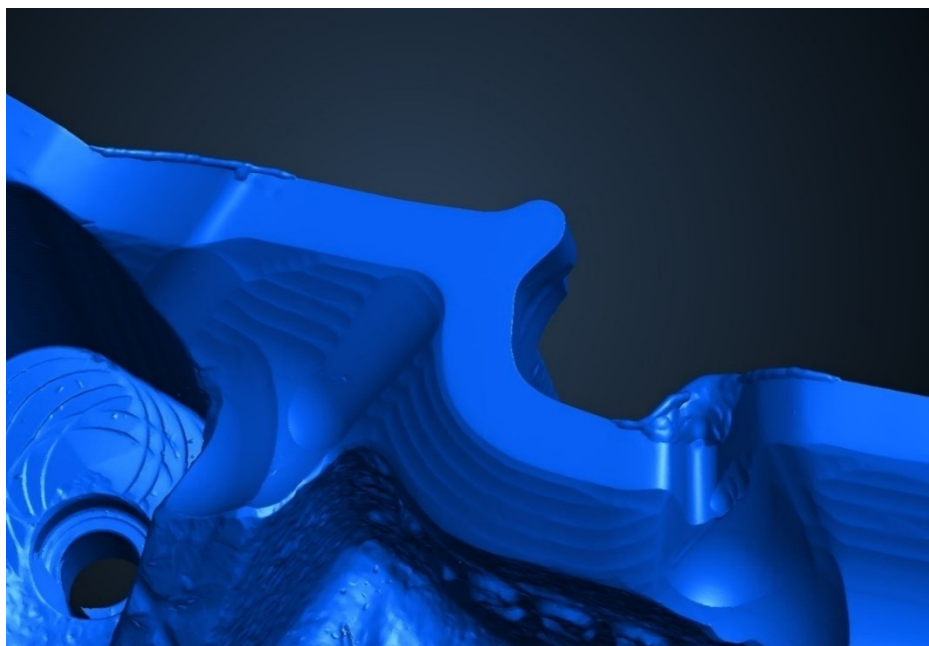
Doba předehřevu: 210 min.

Doba svařování: 15 min.

Tabulka 4 - Chemické složení přídavného materiálu CRONITEX Rc 63 v %.

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,6	1	0,5	6,8	1,7	0,6

Po navaření přídavného materiálu bylo provedeno pro kontrolu svaru naskenování součástí. Bylo kontrolováno, zda je nanесeno potřebné množství navařeného materiálu. Tento sken je také potřebný při frézování. Software porovná naměřenou součást s návarem s původními CAD daty a sám vyhodnotí množství materiálu k odfrézování.

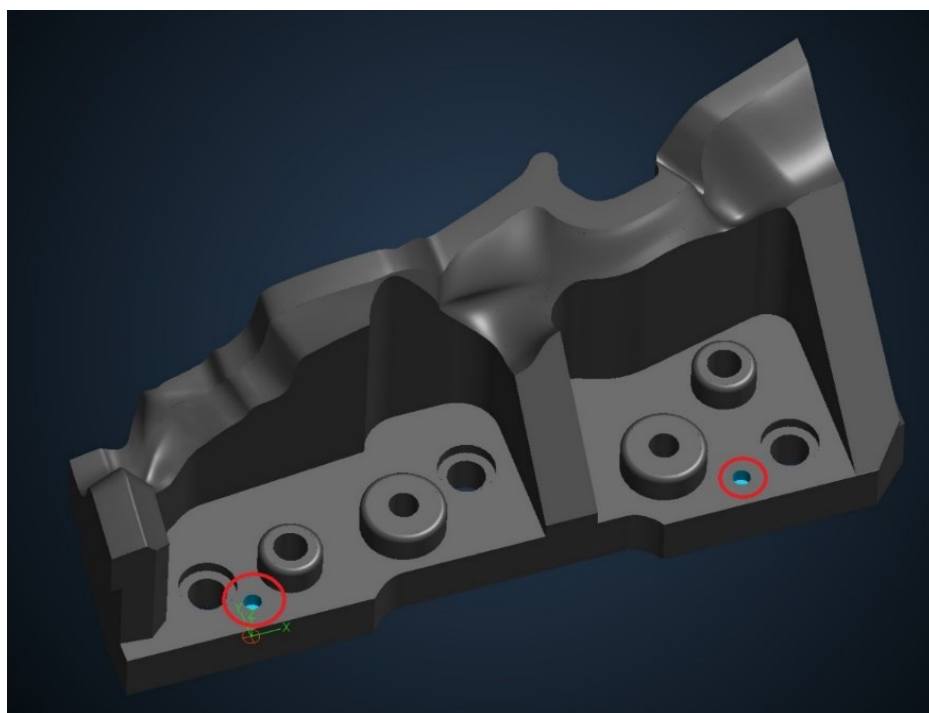


Obrázek 28 - Navařený přídavný materiál

5.6 Frézování na pětiosém obráběcím centru

První operací před samotným frézováním bylo vyvrtání dvou děr o průměru 10 mm za použití šroubovitého vrtáku do hloubky 10 mm. Slouží k přesnému ustanovení počátečního bodu 0 v souřadnicovém systému softwaru.

Čas operace: 15 min.



Obrázek 29 - Vyvrtání děr o průměru 10 mm

Samotné frézování bylo prováděno na pětiosém obráběcím centru Mikron HPM 800 U profesionálním pracovníkem obsluhy. Bylo použito 1 upnutí součásti na otočném, naklápěcím pracovním stole opatřeným magnetem. K frézování bylo použito čelní válcové frézy, s větším průměrem pro hrubování a s menším pro frézování načisto. Frézy byly uloženy v zásobníku a stroj je v průběhu frézování automaticky vyměňoval.

Tabulka 5 - Řezné podmínky při frézování součásti

	Fréza	v_c [m/min]	f_z [mm/zub]
Hrubování	Ø 12 čelní válcová	130	0,16
Načisto	Ø 6 čelní válcová	35	0,025

Přípravný čas: 20 minut

Strojní čas: 64 minut

5.7 Postup skenování

Postup měření probíhá v několika částech:

- Příprava skenované součásti
- Kalibrace skeneru
- Skenování
- Úprava výsledků a zhodnocení odchylek

Příprava skenované součásti

První operací je důkladné očištění součásti. K tomu byl použitý odmašťovač ve spreji Wurth. Po jeho nanesení a setření všech nečistot následuje další postup přípravy. Na rovné, nebo maximálně mírně zakřivené plochy byly umístěny referenční body. Jejich velikost byla zadána do softwaru ATOS Professional. Referenční body slouží ke spojení jednotlivých skenů do jednoho souřadného systému. Jako poslední přípravná operace byl nástřik křídového antireflexního materiálu. Použil jsem sprej od firmy Helling, který je určený právě pro 3D skenování.

Čas operace: 15 min.

Kalibrace skeneru

Pro dosažení co nejlepšího výsledku skenování bylo potřeba zařízení vizuálně zkontrolovat. Kontroloval jsem pevnost a stabilitu stativu a nosné konstrukce, kabeláž, zda je dostatečně pevně připojena ke skeneru, počítači i k elektrické síti. Také jsem provedl vizuální kontrolu čoček.

Pro zahájení kalibrace byl spuštěn příkaz Calibration v softwaru ATOS Professional. Byl zadán kalibrační objekt, v našem případě panel posázený referenčními značkami. Poté byl umístěn kalibrační panel před senzory a mohlo začít kalibrování. Následoval postup podle instrukcí na obrazovce, software sám navádí k natočení skeneru nebo kalibračního panelu. Při každé změně byl pořízen snímek. Po dokončení mi software ihned zobrazil výsledky kalibrace. Byla naměřena odchylka 0,013 pixelů, což znamená, že je zařízení správně kalibrováno.

Čas operace: Kalibrace se provádí průměrně jednou za dva týdny, proto čas kalibrace nebudu ve výsledném hodnocení zohledňovat.

Skenování

Před začátkem skenování byl založen nový projekt a vyplněny informace pro identifikaci mé práce. Zadal jsem také velikost a typ referenčních bodů, v našem případě 5 mm a barva bílá na černém pozadí.

Součást byla umístěna na automatický otočný stůl, který je propojen se softwarem. Součást je nutno naskenovat ze dvou stran – z vrchní a spodní strany. Do softwaru bylo nastaveno, aby při každém skenování zařízení pořídilo 10 snímků a úhel pootočení stolu mezi každým snímkem 36° kolem vlastní osy. Byl aktivován příkaz scan a skener začal pracovat. Po dokončení software automaticky umístil naskenovaný materiál do souřadného systému. Výsledek je umístěný na obrazovce. Následně byla součást umístěna na rotačním stole otočil o 180°. Měření jsem provedl znovu. Software usadil výsledek do souřadného systému a spojil obě měření. Při měření byl aktivní senzor pro detekci vibrací, zabudovaný ve skeneru. Při vibracích a otřesech, které by mohly snížit kvalitu výsledku, by skener automatiky svou činnost zastavil.

Čas operace: 20 minut

Úprava výsledků a vyhodnocení odchylek

Následuje proces ustanovení a optimalizace. Jako první příkaz Align usadil oba naskenované výsledky do jednoho souřadného systému a spojil je v jednu součást. Skener naskenoval i část otočného stolu, na kterém byla součást položená, proto byla tato část ručně odstraněna. Následně byla z naskenovaného výsledku vytvořena síť trojúhelníků. Vytvořením této sítě software sám odstraní duplicitní body, které se ve spojení dvou skenů nacházejí a také doplní tzv. prázdná místa. Byl použitý příkaz Polygonize. Parametry příkazů Align a Polygonize byly vyplněny podle zkušeností profesionální obsluhy skeneru.



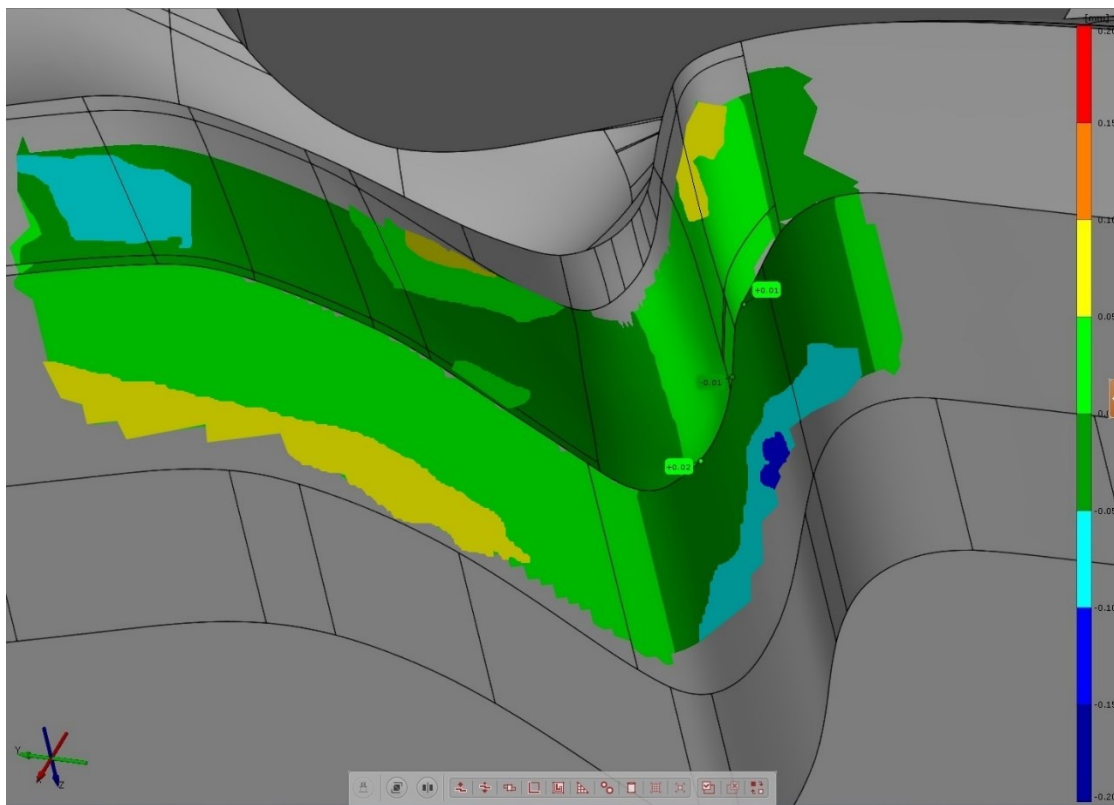
Obrázek 30 - Vytvořená polygonální síť

Nakonec se software přepnul do vyhodnocovacího módu a přidal na pracovní plochu naskenovanou součást po opravě a stejnou součást před havárií. Bylo provedeno ustanovení do stejného počátečního bodu a vyhodnotil odchylky.

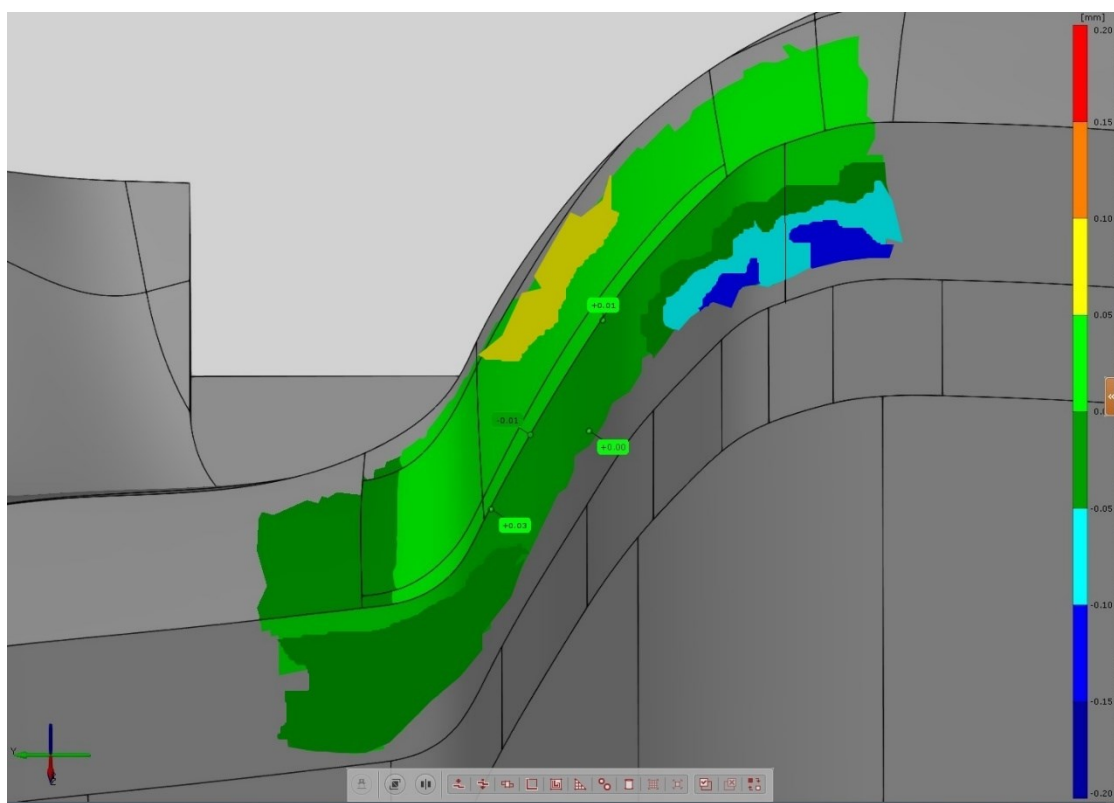
Čas operace: 30 min.

5.8 Výsledek opravy

Po ofrézování navařené vrstvy bylo provedeno poslední skenování a vyhodnocení odchylek opravené součásti od té původní před havárií. Z obrázku 31 a 32 je vidět, že rozptyl odchylek se pohybuje v rozmezí od +0,02 mm do -0,01 mm. Podle rozhodnutí nástrojařů jsou tyto odchylky přípustné a součást jsem mohl namontovat do systému nástroje a následně byl nástroj vrácen do výroby.



Obrázek 31 - Vyhodnocení opravy řezné hrany



Obrázek 32 - Vyhodnocení opravy řezné hrany

5.9 Možné řešení bez použití 3D skeneru

Řešení bez 3D skeneru je velmi časově a fyzicky velmi náročné. Jedná se především o ruční práci bez možnosti výsledek kontrolovat s CAD daty, protože ty bez skeneru nejsou k dispozici. Jelikož je řezná hrana deformovaná ve křivce, nemůžeme se spolehnout ani na výkresovou dokumentaci, protože křivka není zakótovaná.

Jako první se demontuje střížná matrice ze systému nástroje a provede se proces navaření přídavného materiálu (kapitola 4.5). Poté se bez dalších úprav namontuje na své místo do lisovacího nástroje. Celý nástroj se odstrojí od klasických i plynových pružin, aby se mohla horní část lisovacího nástroje s razníky spustit do řezu. Lisovací nástroj se umístí do tuširovacího lisu. Tam nastává nejnáročnější část. Nástrojař za pomoci pilníku ručně piluje navařený materiál. Pro kontrolu nástrojař nanese válečkem na pilovanou část tuširovací barvu. V našem případě barvu s názvem Berlínská modř. Poté se spustí lis do řezu a zvedne. Pokud dojde k otisku modré barvy na razník umístěný v horní části lisovacího nástroje, nástrojař pokračovat v pilování. Tento postup opakuje, dokud k otisku modré barvy nedojde.

Při tomto postupu může docházet k nepřesnostem a odchylkám, zvláště pak když dojde k havárii opakovaně a tento postup se opakuje. Stanovit čas opravy tímto postupem je obtížné, protože se může pokaždé lišit. Záleží na rozsahu oprav a na šikovnosti nástrojaře. Ke stanovení času opravy bylo použité několik podobných případů a zprůměrované časy oprav. Tímto způsobem trvá oprava průměrně 4 dny při 8 hodinové pracovní době.

Čas operace: 1920 min.

6. Technicko-ekonomické zhodnocení

6.1 Výpočet nákladů při opravě za použití 3D skeneru

6.1.1 Výpočet nákladů procesu skenování

Tabulka 6 - Časová náročnost procesu skenování

OPERACE	ČAS
Příprava součásti	15 min.
Skenování	20 min.
Úprava výsledků a vyhodnocení	30 min.
SOUČET	65 min.

Hodinová sazba pro skenování skenerem ATOS III Triple-Scan je 1210 Kč/h

Při práci jsem proces skenování opakoval 3krát.

Celkové náklady při skenování činí 3933 Kč.

6.1.2 Výpočet nákladů procesu navařování

Tabulka 7 - Časová náročnost procesu navařování

OPERACE	ČAS
Úprava svarových ploch	15 min.
Přehřev	210 min.
Navařování	15 min.
SOUČET	240 min.

Cena přídatného materiálu CRONITEX Rc 63 za 1 kg je 2970 Kč.

Váha použitého materiálu 20 g.

Výpočet mzdových a režijních nákladů vztažené na svářeče:

$$N_1 = \frac{S_{SV}}{G_{tav} \times t_{využ}} \quad [\text{Kč/kg}] \quad (5)$$

$$N_1 = \frac{450}{1,18 \times 0,30} = 1271,2 \text{ Kč/kg}$$

kde: S_{SV} je hodinová sazba svářeče [Kč/hod.], G_{tav} je výkon odtavení při svařování [kg/hod.], $t_{využ}$ je podíl času hoření oblouku z celkové pracovní doby [%/100].

Výpočet nákladů na přídatný svařovací materiál:

$$N_2 = \frac{C_{SV}}{V_{SV}} \quad [\text{Kč/kg}] \quad (6)$$

$$N_2 = \frac{2970}{0,90} = 3300 \text{ Kč/kg}$$

kde: C_{SV} je cena přídatného svařovacího materiálu [Kč/kg], V_{SV} je využití přídatného materiálu [%/100].

Výpočet nákladů na ochranné plyny

$$N_3 = \frac{Q_{plyn} \times C_{plyn}}{G_{tav}} \quad [\text{Kč/kg}] \quad (7)$$

$$N_3 = \frac{900 \times 0,86}{1,18} = 655,93 \text{ Kč/kg}$$

kde: Q_{plyn} je průtokové množství ochranného plynu [l/hod], C_{plyn} je cena ochranného plynu [Kč/l], G_{tav} je výkon odtavení při svařování [kg/hod.]

$$N = N_1 + N_2 + N_3 \quad (8)$$

$$N = 5227,1 \text{ Kč/kg}$$

$$N_{navařování} = N \times m = 5225,1 \times 0,02 = 104,54 \text{ Kč} \quad (9)$$

$$N_{celk} = N_{navařování} + S_{SV} \times t_p \quad (10)$$

$$N_{celk} = 1679,5 \div 1680 \text{ Kč}$$

kde: t_p je doba předehřívání základního materiálu [hod.].

6.1.3 Výpočet nákladů procesu frézování

Tabulka 8 - Časová náročnost procesu frézování

OPERACE	ČAS
Vrtání děr	15 minut
Přípravný čas	20 minut
Strojní čas	64 minut
SOUČET	99 minut

Hodinová sazba pro práci stroje MIKRON HPM 800U je 650 Kč.

Celkové náklady frézování na pětiosém centru jsou 1073 Kč.

6.2 Výpočet nákladů bez použití 3D skeneru

Tabulka 9 - Časová náročnost opravy bez 3D skeneru

OPARACE	ČAS
Průměrná doba opravy	1920 minut

Hodinová sazba práce nástrojaře je 400 Kč.

Náklady pro navaření materiálu činí 1680 Kč

Celkové náklady opravy bez použití 3D skeneru jsou 14490 Kč.

6.3 Srovnání časů a finanční náročnosti opravy součásti po havárii s použitím 3D skeneru i bez jeho použití

Tabulka 10 - Srovnání časové a finanční náročnosti

DRUH OPRAVY	ČAS	NÁKLADY
Se skenerem	534 min.	6686 Kč
Bez skeneru	1920 min.	14490 Kč

7. Závěr

V teoretické části bakalářské práce byly vysvětlené základní pojmy: zpracování obrazu, vlnová délka, reverzní inženýrství, digitalizace obrazu, fotogrammetrie. Dále byly popsány různé druhy 3D skenerů, jejich použití, výhody a nevýhody, které výrobci v současné době nabízejí.

Cílem experimentální části bakalářské práce bylo navrhnout a popsat postup při opravě deformované řezné hrany na součásti matrice ze systému lisovacího nástroje. K této deformaci došlo při havárii nástroje. Úkolem bylo navrhnout postup celé opravy součásti s použitím 3D skeneru ATOS III Triple Scan. Následně bylo provedeno zhodnocení nákladů a časové náročnosti při použití tohoto zařízení a porovnání s dalším řešením bez použití 3D optického skeneru.

V první části se provedlo skenování za účelem zjištění velikosti odchylky deformované části. To pomohlo odhadnout jaké přibližné množství přídavného materiálu se má použít pro navaření. Po doporučení odborného technika bylo zvoleno 20 g přídavného materiálu, který byl navařen na součást. Po navaření se součást znovu naskenovala, bylo zjištěné množství materiálu, které se má odfrézovat na pětiosém obráběcím centru viz. obrázek 28, který byl porovnán s původním CAD modelem. V poslední části byla kontrola součásti za pomoci 3D skeneru. Výsledky opravy prokázaly úspěšnou opravu. Z výsledků se zjistilo, že největší odchylka součásti po opravě dosahovala velikosti 0.02 mm, což je přípustné a součást mohla být vrácena do výroby. Zároveň byl změřený čas celé opravy s použitím 3D skeneru, který trval 534 min. Měření času opravy bez použití moderních technologií, jakou jsou 3D skenování, nebo frézování na pětiosých CNC strojích je složitější, protože se jedná převážně o manuální práci. Byl vypočítán průměr několika takových oprav součástí podobného tvaru, přičemž výsledek trvání doby opravy byl spočítán na 1920 min.

Při technickém a ekonomickém zhodnocení práce se došlo k výsledku, že při použití moderních technologií jako je 3D skenování a frézování na pětiosém CNC stroji, došlo k snížení nákladů na opravu součásti o 53,89 % a také k zkrácení času opravy dokonce až o 72,19 %. Řešením s použitím 3D technologií dosahujeme vysokých přesností, a tak je možné části nástrojů opravovat opakovaně bez zvyšování odchylek. Celkově je výroba kvalitnější a snižuje se doba dodání vyrobeného produktu zákazníkovi.

Seznam použité literatury

- [1] DOBEŠ, Michal. *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-233-6.
- [2] *Interakcia žiarenia a človeka* [online]. [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://neod32.euweb.cz/html-kvantova%20fyzika/interakcia.htm>
- [3] ŽBÁNKOVÁ, Pavla. *Projekt ke zkoušce ze Základů obrazového inženýrství – CCD senzory* [online]. [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: http://www.fch.vut.cz/~zmeskal/obring/presentace_2002/07_ccd_senzory.pdf
- [4] *Jaký je rozdíl mezi CCD a CMOS?* [online]. [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.myprovas.cz/blog/jaky-je-rozdil-mezi-ccd-a-cmos/>
- [5] EIS, Jiří. *Technologie výroby kopie osobního automobilu pomocí digitalizace* [online]. [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/15859/DP_2010_Ji%C5%99%C3%AD%20Eis_Technologie%20v%C3%BDroby%20kopie%20osobn%C3%ADho%20automobilu%20pomoc%C3%AD%20digitalizace.pdf?sequence=1
- [6] *DeskTom* [online]. [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: <http://www.3d-skenovani.cz/tomograficke-pristroje>
- [7] *ATOS Triple Scan* [online]. [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: http://www.henindo.co.id/home/ATOS-Triple-Scan_EN_RevA.pdf
- [8] NAVRÁTIL, Robert. *Technologie skenování ve 3D* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.spsks.cz/wp-content/uploads/2016/03/Technologie-skenov%C3%A1n%C3%AD-ve-3D-0.pdf>
- [9] MAČÁK, Josef. *Optický skener ATOS* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/data/files/atos-final-25.pdf>
- [10] *Systém ATOS, výukový modul* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/FRVS/atos.pdf>

- [11] ROCHLA, Tomáš. *Digitalizace prostorových objektů při soudně inženýrské analýze dopravních nehod* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z:
<http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-04-213-217.pdf>
- [12] *3D skenery (GOM)* [online]. [cit. 2017-02-11]. Dostupné z:
<http://www.mcae.cz/3d-skenery>
- [13] *Reverse Engineering* [online]. [cit. 2017-02-11]. Dostupné z:
<http://3dlaboratory.cz/reverse-engineering/>
- [14] NAVRÁTIL R. *Reverse Engineering – trochu teorie* [online]. [cit. 2017-02-11].
Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/re-teorie/index.html>
- [15] SOUČEK, Jiří. *CCD versus CMOS* [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z:
<http://diit.cz/clanek/ccd-versus-cmos>
- [15] *Přesná průmyslová 3D metrologie* [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z:
<http://www.atos-core.com/cz/features.php>
- [16] ČEPOVÁ, Lenka a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2514-4.
- [17] *Android/IOIO 3D Laser Scanner* [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z:
<http://shortcircuitsandinfinitemoops.blogspot.cz/2014/10/androidioio-3d-laser-scanner.html>
- [18] BÖHM, Jozef. *Fotogrammetrie* [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z:
<http://igdm.vsb.cz/igdm/materialy/Fotogrammetrie.pdf>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Druhy elektromagnetického záření [2].....	12
Obrázek 2 - Srovnání procesu reverzního inženýrství s klasickým výrobním postupem.....	13
Obrázek 3 - Ukázky hotových CCD senzorů opatřené paticemi k připojení do přístroje [3].	14
Obrázek 4 - Osazený CMOS senzor [4].....	15
Obrázek 5 - Jeden z hlavních rozdílů CCD a CMOS chipu [15].....	15
Obrázek 6 - Druhy 3D skenerů [5].....	16
Obrázek 7 - 1D triangulace [16].....	17
Obrázek 8 - Princip 2D triangulace [16].....	17
Obrázek 9 - 3D triangulace [16].....	18
Obrázek 10 - Konstrukční rozdělení CMM.....	19
Obrázek 11 - a) pevná snímací hlavice, b) polohovatelná snímací hlavice [16].....	20
Obrázek 12 - Příklad skenování laserem [17].....	21
Obrázek 13 - Ruční laserový 3D skener HandyScan 3D [8].....	21
Obrázek 14 - Určení pozice reflektoru [16].....	22
Obrázek 15 - Rentgenový 3D skener DeskTom [6].....	23
Obrázek 16 - Promítání pruhů a triangulace [16].....	24
Obrázek 17 - a) fotoaparát Canon EOS 1D, b) Nikko D300s [16].....	25
Obrázek 18 - Referenční značky [8].....	26
Obrázek 19 - Postup při fotografování objektu [8].....	26
Obrázek 20 - Optický 3D skener ATOS III [11].....	27
Obrázek 21 - Hlava 3D skeneru ATOS [10].....	28

Obrázek 22 - 3D skenery od firmy GOM [8].....	29
Obrázek 23 - Funkce Triple Scan [15].....	31
Obrázek 24 - Skenovaná součást.....	32
Obrázek 25 - Místa deformace řezné hrany.....	33
Obrázek 26 - Deformace řezné hrany.....	34
Obrázek 27 - Odchytky deformované hrany od původní součásti.....	34
Obrázek 28 - Navařený přídavný materiál.....	36
Obrázek 29 - Vyvrtání děr o průměru 10 mm.....	36
Obrázek 30 - Vytvořená polygonální síť.....	39
Obrázek 31 - Vyhodnocení opravy řezné hrany.....	40
Obrázek 32 - Vyhodnocení opravy řezné hrany.....	40

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Základní rozdělení systémů ATOS [12].....	29
Tabulka 2 - Druhy zařízení ATOS Triple Scan.....	31
Tabulka 3 - Chemické složení materiálu 19 573 v %.....	33
Tabulka 4 - Chemické složení přídavného materiálu CRONITEX Rc 63 v %.....	35
Tabulka 5 - Řezné podmínky při frézování součástí.....	37
Tabulka 6 - Časová náročnost procesu skenování.....	42
Tabulka 7 - Časová náročnost procesu navařování.....	42
Tabulka 8 - Časová náročnost procesu frézování.....	43
Tabulka 9 - Časová náročnost opravy bez 3D skeneru.....	44
Tabulka 10 - Srovnání časové a finanční náročnosti.....	44
	50